

10/647,341
McDermott, W. H. & Son,
File 8/26/2003
50212-521

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2002年 8月29日

出 願 番 号
Application Number:

特願2002-251632

[ST.10/C]:

[JP 2002-251632]

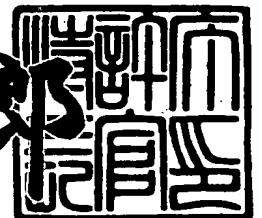
出 願 人
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2003年 4月25日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3030143

【書類名】 特許願

【整理番号】 102Y0409

【提出日】 平成14年 8月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04J 14/00

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

 【氏名】 奥野 俊明

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

 【識別番号】 100092657

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

 【識別番号】 100110582

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 信号光波長帯域内の多波長の信号光を、直接変調光源により出力し、光ファイバ伝送路により伝送する光伝送システムであって、

前記光ファイバ伝送路の途中または後段に設けられ、前記多波長の信号光を、前記光ファイバ伝送路の零分散波長を含む第 1 波長域と前記第 1 波長域以外の第 2 波長域とに分波する分波器と、

前記分波器により分波された前記第 2 波長域の信号光を分散補償する分散補償器と

を備え、

前記光ファイバ伝送路および前記分散補償器の全体の波長分散が最大である前記第 2 波長域中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) としたときに、その波長分散値が 0 (ps/nm) より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であり、

システム全体での前記第 2 波長域中の各波長の信号光の損失が、前記光ファイバ伝送路での前記第 1 波長域中の信号光の最大損失より小さい

ことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】 信号光波長帯域内の多波長の信号光を、直接変調光源により出力し、光ファイバ伝送路により伝送する光伝送システムであって、

前記光ファイバ伝送路の途中または後段に設けられ、前記多波長の信号光を、前記光ファイバ伝送路の零分散波長を含む第 1 波長域と前記第 1 波長域以外の第 2 波長域とに分波する分波器と、

前記分波器により分波された前記第 2 波長域の信号光を分散補償する分散補償器と

を備え、

前記光ファイバ伝送路および前記分散補償器の全体の波長分散が最大である前記第 2 波長域中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) としたときに、その波長分散値が 0 (ps/nm) より大きく $7500/B^2$ (ps/nm)

) 以下であり、

前記第 2 波長域中の各信号光の受信器の最小受信パワーが、前記光ファイバ伝送路での前記第 1 波長域中の信号光の最小パワーより小さい

ことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 3】 前記光ファイバ伝送路および前記分散補償器の全体の波長分散が、前記第 2 波長域中の各波長において、 0 より大きく $7500/B^2$ ($p s / n m$) 以下であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 4】 前記分散補償器が分散補償光ファイバであることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 5】 前記光ファイバ伝送路が波長 $1.3 \mu m$ 近傍に零分散波長を有する単一モード光ファイバからなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 6】 前記光ファイバ伝送路の波長 $1.38 \mu m$ における伝送損失が波長 $1.31 \mu m$ における伝送損失より小さいことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 7】 前記光ファイバ伝送路が波長 $1.35 \mu m \sim 1.5 \mu m$ に零分散波長を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 8】 前記光ファイバ伝送路において信号光をラマン増幅する為のラマン増幅用励起光を前記光ファイバ伝送路に供給する励起光供給手段を更に備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 9】 前記励起光供給手段が波長 $1.2 \mu m \sim 1.3 \mu m$ のラマン増幅用励起光を前記光ファイバ伝送路に供給することを特徴とする請求項 8 に記載の光伝送システム。

【請求項 10】 前記分散補償器としての分散補償光ファイバにおいて信号光をラマン増幅する為のラマン増幅用励起光を前記分散補償光ファイバに供給する励起光供給手段を更に備えることを特徴とする請求項 4 に記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、信号光波長帯域内の多波長の信号光を直接変調光源より出力し、この多波長の信号光を光ファイバ伝送路により伝送する光伝送システムに関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 光伝送システムは、多波長の信号光を多重化して光ファイバ伝送路により伝送するものであり、大容量の情報を高速に送受信することができる。また、光伝送システムは、信号光伝送経路の全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることで、信号光の波形劣化を抑制することができ、これにより、ビットレートを高くすることができ、更なる大容量化が可能である。

【 0 0 0 3 】

例えば、特開平 1 1 - 2 0 4 8 6 6 号公報に開示された光伝送システムは、多波長の信号光を複数の帯域に分波して、帯域毎に分散補償をするものであって、これにより、帯域毎に累積波長分散の絶対値の低減を図るものである。

【 0 0 0 4 】

文献 1 「D. A. Atlas, "Chromatic dispersion limitations due to semiconductor laser chirping in conventional and dispersion-shifted single-mode fiber systems", Optics Letters, Vol.13, No.11, pp.1035-1037 (1988)」には、信号光源として直接変調半導体レーザ光源を用いた場合における累積波長分散と伝送特性との関係が示されている。この文献には、良好な信号光伝送品質を得る為の分散耐力の値が記載されており、ビットレートが 2.5 Gb/s であるときには分散耐力が 1200 ps/nm であり、ビットレートが 10 Gb/s であるときには分散耐力が 80 ps/nm である旨が記載されている。

【 0 0 0 5 】

文献 2 「M. Kakui, et al., "2.4Gbit/s repeaterless transmission over 30 km non-dispersion-shifted fibre using directly modulated DFB-LD and dis

persion-compensating fibre", Electronics Letters, Vol.31, No.1, pp.51-52

(1995)」に記載された光伝送システムは、信号光源として直接変調半導体レーザー光源を用い、また、分散補償器として分散補償光ファイバを用いて、累積波長分散の絶対値を略零にすることを意図したものである。

【0006】

文献3「M. Tanaka, et al., "Water-peak-suppressed non-zero dispersion shifted fiber for full spectrum coarse WDM transmission in metro networks", OFC2002, WA2」に記載された光伝送システムは、波長 $1.38\mu\text{m}$ 付近のOH基に因る損失ピークが低減された光ファイバを用いたものである。この文献には、信号光源として直接変調半導体レーザー光源を用いた場合であって、ビットレートが 2.5Gb/s であるときに、累積波長分散が 1000ps/nm 程度で伝送ペナルティが 1dB である旨が記載されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、多波長の信号光の波長間隔が比較的広いCWDM (Coarse WDM) 光伝送を行なう光伝送システム（例えば特開2000-156702号公報を参照）は、一般に、通信需要が比較的小さい経路で用いられるものであり、システムコスト低減が要求されることから、信号光源として用いられる半導体レーザー光源が直接変調され、また、分散補償が行なわれないのが一般的である。

【0008】

一方、一般に光ファイバ伝送路として用いられる光ファイバは信号光波長において正の波長分散を有するものであることから、分散補償する場合には、信号光波長において負の波長分散を有する分散補償光ファイバが挿入される。しかし、分散補償光ファイバに代表されるような分散補償器は、一般に、分散補償量の絶対値が大きいほど挿入損失が大きい傾向がある。それ故、必要以上に分散補償すると、損失増加が問題となる。

【0009】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能であって特にCWDM光伝送を

行なうのに好適な光伝送システムを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光伝送システムは、信号光波長帯域内の多波長の信号光を、直接変調光源により出力し、光ファイバ伝送路により伝送する光伝送システムであって、(1) 光ファイバ伝送路の途中または後段に設けられ、多波長の信号光を、光ファイバ伝送路の零分散波長を含む第1波長域と第1波長域以外の第2波長域とに分波する分波器と、(2) 分波器により分波された第2波長域の信号光を分散補償する分散補償器とを備えることを特徴とする。さらに、(a) 光ファイバ伝送路および分散補償器の全体の波長分散が最大である第2波長域中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) としたときに、その波長分散値が 0 (ps/nm) より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下であり、(b1) システム全体での第2波長域中の各波長の信号光の損失が、光ファイバ伝送路での第1波長域中の信号光の最大損失より小さいことを特徴とする。或いは、上記(b1)に替えて、(b2) 第2波長域中の各信号光の受信器の最小受信パワーが、光ファイバ伝送路での第1波長域中の信号光の最小パワーより小さいことを特徴とする。

【0011】

この光伝送システムによれば、直接変調光源より出力された信号光波長帯域内の多波長の信号光は、光ファイバ伝送路により伝送され、分波器により第1波長域と第2波長域とに分波される。第1波長域は光ファイバ伝送路の零分散波長を含む波長域であり、第2波長域はこれ以外の波長域である。分波器により分波されて出力された波長分散の絶対値が大きい第2波長域の信号光は、分散補償器により分散補償される。そして、光ファイバ伝送路および分散補償器を含むシステム全体の波長分散特性および損失特性それぞれが上記のようなものとされていることにより、この光伝送システムは、信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能となり、特にCWDM光伝送を行なうのに好適なものとなる。また、一方の第2波長域の信号光に対してのみ分散補償器を設ければよいので、システムコストが安価なものとなる。また、CWDM光伝送では信号光の波長間隔が広いので、分波器として安価な光フィルタを用いることができる。

【0012】

本発明に係る光伝送システムは、光ファイバ伝送路および分散補償器の全体の波長分散が、第2波長域中の各波長において、0より大きく $7500/B^2$ (p s/nm) 以下であるのが好適である。この場合には、第2波長域における分散補償量を小さくすることができ、これに伴い、第2波長域における損失増加を抑制することができるので、更に高品質の信号光伝送が可能である。

【0013】

本発明に係る光伝送システムは、分散補償器が分散補償光ファイバであるのが好適である。この場合には、分散補償量が少ないときには、損失の低減が期待でき、より顕著に第2波長域における損失増加を抑制することができる。

【0014】

本発明に係る光伝送システムは、光ファイバ伝送路が波長 $1.3\mu\text{m}$ 近傍に零分散波長を有する単一モード光ファイバからなるのが好適である。この場合には、既に敷設されている単一モード光ファイバからなる光ファイバ伝送路を利用することができるので、システムコストを安価にすることができる。

【0015】

本発明に係る光伝送システムは、光ファイバ伝送路の波長 $1.38\mu\text{m}$ における伝送損失が波長 $1.31\mu\text{m}$ における伝送損失より小さいのが好適である。この場合には、波長 $1.38\mu\text{m}$ 付近の波長の信号光を用いることができ、更なる大容量化が可能である。

【0016】

本発明に係る光伝送システムは、光ファイバ伝送路が波長 $1.35\mu\text{m}\sim 1.5\mu\text{m}$ に零分散波長を有するのが好適である。この場合には、信号光波長帯域のうち短波長側における光ファイバ伝送路の波長分散が負値（または小さい正值）であるので、信号光波長帯域内の全波長の信号光の伝送特性を改善することができる。

【0017】

本発明に係る光伝送システムは、光ファイバ伝送路において信号光をラマン増幅する為のラマン増幅用励起光を光ファイバ伝送路に供給する励起光供給手段を

更に備えるのが好適である。この場合には、ラマン増幅用励起光が供給された光ファイバ伝送路において信号光がラマン増幅されるので、実効的な伝送損失を低減することができ、また、分散補償器の挿入に伴う損失の増加を補償することができる。

【 0 0 1 8 】

本発明に係る光伝送システムは、励起光供給手段が波長 $1.2 \mu\text{m} \sim 1.3 \mu\text{m}$ のラマン増幅用励起光を光ファイバ伝送路に供給するのが好適である。この場合には、特に伝送損失が大きい波長 $1.31 \mu\text{m}$ 近傍の信号光がラマン増幅され、この波長近傍の実効的な伝送損失を低減することができる。

【 0 0 1 9 】

本発明に係る光伝送システムは、分散補償器としての分散補償光ファイバにおいて信号光をラマン増幅する為のラマン増幅用励起光を分散補償光ファイバに供給する励起光供給手段を更に備えるのが好適である。この場合には、分散補償光ファイバの実効的な伝送損失を低減することができ、その結果、ロスバジェットの拡大やシステムの信頼性の向上を図ることができる。

【 0 0 2 0 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 2 1 】

(第 1 実施形態)

先ず、本発明に係る光伝送システムの第 1 実施形態について説明する。図 1 は、第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 の構成図である。この図に示される光伝送システム 1 は、 N 個 (N は 2 以上の整数) の送信器 $11_1 \sim 11_N$ 、合波器 12、 N 個の受信器 $21_1 \sim 21_N$ 、分波器 22、分散補償器 23、分波器 24_1 、分波器 24_2 、および、光ファイバ伝送路 30 を備えている。

【 0 0 2 2 】

各送信器 11_n (n は 1 以上 N 以下の任意の整数) は、直接変調された波長 λ_n の信号光を出力する半導体レーザ光源を含む。合波器 12 は、各送信器 11_n よ

り出力された波長 λ_n の信号光を入力し、これらを合波して、多重化された多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を光ファイバ伝送路30へ送出する。これらの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ は、波長 $1.3 \mu\text{m}$ 程度から波長 $1.61 \mu\text{m}$ 程度までの信号光波長帯域に含まれるものであって、波長間隔が比較的広い。すなわち、この光伝送システム1は、CWDM光伝送を行うものである。

【0023】

光ファイバ伝送路30は、合波器12より出力された多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を分波器22へ伝送する。この光ファイバ伝送路30は、波長 $1.3 \mu\text{m}$ 近傍に零分散波長を有する標準的な単一モード光ファイバからなるのが好適であり、或いは、波長 $1.35 \mu\text{m} \sim 1.5 \mu\text{m}$ に零分散波長を有する非零分散シフト光ファイバからなるのも好適である。また、光ファイバ伝送路30は、波長 $1.38 \mu\text{m}$ における伝送損失が波長 $1.31 \mu\text{m}$ における伝送損失より小さいのが好適である。

【0024】

分波器22は、光ファイバ伝送路30の後段に設けられ、光ファイバ伝送路30により伝送された多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を入力し、これらを第1波長域 Λ_1 と第2波長域 Λ_2 とに分波する。第1波長域 Λ_1 は光ファイバ伝送路30の零分散波長を含む波長域であり、第2波長域 Λ_2 はこれ以外の波長域である。光ファイバ伝送路30が標準的な単一モード光ファイバである場合には、第1波長域 Λ_1 より第2波長域 Λ_2 の方が長波長側にある。

【0025】

分散補償器23は、分波器22により分波されて出力された第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ (M は2以上($N-1$)以下の整数)の信号光を入力して、これらの信号光に対して分散補償して出力する。この分散補償器23は、第2波長域 Λ_2 において光ファイバ伝送路30の波長分散とは異符号の波長分散を有する。分散補償器23は、例えば分散補償光ファイバが好適に用いられ、この場合には、損失が小さく、他の光ファイバとの接続が容易であり、広帯域で使用可能である。また、分散補償器23は、バルク型のものであってもよく、この場合には、周期性があり、広帯域で使用可能であり、分散特性を可変とすることがで

き、高入力パワーでも使用可能である。また、分散補償器 2 3 は、平面光導波路型のものであってもよく、この場合には、小型化可能であり、広帯域で使用可能であり、高入力パワーでも使用可能である。

【 0 0 2 6 】

分波器 2 4₁ は、分波器 2 2 により分波されて出力された第 1 波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を入力して、これらを波長毎に分波して出力する。分波器 2 4₂ は、分散補償器 2 3 により分散補償されて出力された第 2 波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を入力して、これらを波長毎に分波して出力する。各受信器 2 1_n は、分波器 2 4₁ または分波器 2 4₂ より出力された波長 λ_n の信号光を受信する。

【 0 0 2 7 】

この光伝送システム 1 は以下のように動作する。直接変調された各送信器 1 1_n により出力された各波長 λ_n の信号光は合波器 1 2 により合波され、多重化された多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光が光ファイバ伝送路 3 0 へ送出される。光ファイバ伝送路 3 0 により伝送されて分波器 2 2 に到達した多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、分波器 2 2 により第 1 波長域 Λ_1 と第 2 波長域 Λ_2 とに分波される。分波器 2 2 により分波されて出力された波長分散の絶対値が小さい第 1 波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光は、分波器 2 4₁ により波長毎に分波されて、受信器 2 1₁ \sim 2 1_M により受信される。一方、分波器 2 2 により分波されて出力された波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、分散補償器 2 3 により分散補償された後に、分波器 2 4₂ により波長毎に分波されて、受信器 2 1_{M+1} \sim 2 1_N により受信される。

【 0 0 2 8 】

このとき、光ファイバ伝送路 3 0 および分散補償器 2 3 の全体の波長分散が最大である第 2 波長域 Λ_2 中の特定波長において、ビットレートを B (G b / s) としたときに、その波長分散値は 0 より大きく $7500 / B^2$ (p s / nm) 以下とされる。また、システム全体での第 2 波長域 Λ_2 中の各波長の信号光の損失が、光ファイバ伝送路 3 0 での第 1 波長域 Λ_1 中の信号光の最大損失より小さく設定される。或いは、第 2 波長域 Λ_2 中の各信号光の受信器の最小受信パワーが

、光ファイバ伝送路30での第1波長域 Λ_1 中の信号光の最小パワーより小さく設定される。また、光ファイバ伝送路30および分散補償器23の全体の波長分散が、第2波長域 Λ_2 中の各波長において、0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm)以下であるのが好適である。なお、「 $7500/B^2$ 」はシステムの分散耐力を表す。

【0029】

波長分散特性および損失特性が上記のようなものであることにより、光伝送システム1は、信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能となり、特にCWDM光伝送を行なうのに好適なものとなる。また、一方の第2波長域 Λ_2 の信号光に対してのみ分散補償器23を設ければよいので、システムコストが安価なものとなる。また、CWDM光伝送では信号光の波長間隔が広いので、分波器22として安価な光フィルタを用いることができる。

【0030】

図2は、第1実施形態に係る光伝送システム1の波長分散特性および損失特性を示す図である。同図(a)は、送信器から受信器へ至るまでの累積波長分散の波長依存性を示し、同図(b)は、送信器から受信器へ至るまでの損失の波長依存性を示す。ここでは、光ファイバ伝送路30は、長さ80kmの標準的な単一モード光ファイバからなるものとした。分散補償器23は、分散補償光ファイバからなるものとし、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、波長分散が -100ps/nm/km であり、分散スロープが $0\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、損失が 0.5dB/km であった。合波器12、分波器24₁および分波器24₂それぞれの挿入損失が3dBであった。分波器22の挿入損失は1dBとした。波長 $1.31\mu\text{m}$ ～ $1.61\mu\text{m}$ の範囲の16波の信号光(波長間隔20nm)を伝送することとし、ビットレートを 2.5Gb/s とした。この場合、システムの分散耐力は 1200ps/nm である。

【0031】

分散補償器23を設けない場合には、波長によっては累積波長分散が分散耐力を超える(同図(a)中の破線)。しかし、本実施形態に係る光伝送システム1では、光ファイバ伝送路30の波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 (波長

1. $48\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$) に含まれる各波長の信号光は、分散補償器 23 により分散補償されて、これにより全体の累積波長分散が分散耐力以下となった（同図 (a) 中の実線）。分散補償器 23 である分散補償光ファイバの長さは、最大波長 $1.61\ \mu\text{m}$ で累積波長分散が分散耐力以下となるように調整された。

【0032】

分散補償器 23 の損失は $3\ \text{dB}$ であった。第 1 波長域 Λ_1 における最大損失は波長 $1.31\ \mu\text{m}$ における $32\ \text{dB}$ であり、第 2 波長域 Λ_2 における全体の損失は $29\ \text{dB} \sim 30\ \text{dB}$ であった（同図 (b)）。なお、第 2 波長域 Λ_2 における全体の累積波長分散を負にしようとする、第 2 波長域 Λ_2 における全体の損失は、波長 $1.31\ \mu\text{m}$ における損失より大きくなる。

【0033】

図 3 は、第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 の他の損失特性を示す図である。同図は、送信器から受信器へ至るまでの損失の波長依存性を示す。ここでは、光ファイバ伝送路 30 は、長さ $70\ \text{km}$ の非零分散シフト光ファイバからなるものとした。この非零分散シフト光ファイバは、零分散波長が $1.48\ \mu\text{m}$ であり、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における損失が $0.2\ \text{dB/km}$ であった。分散補償器 23 は、分散補償光ファイバからなるものとし、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において、波長分散が $-80\ \text{ps/nm/km}$ であり、分散スロープが $-0.1\ \text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、損失が $0.5\ \text{dB/km}$ であった。合波器 12、分波器 24_1 および分波器 24_2 それぞれの挿入損失が $3\ \text{dB}$ であった。分波器 22 の挿入損失は $1\ \text{dB}$ とした。波長 $1.31\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ の範囲の 16 波の信号光（波長間隔 $20\ \text{nm}$ ）を伝送することとし、ビットレートを $10\ \text{Gb/s}$ とした。この場合、システムの分散耐力は $75\ \text{ps/nm}$ である。

【0034】

このときも、分散補償器 23 を設けない場合には、波長によっては累積波長分散が分散耐力を超える。しかし、本実施形態に係る光伝送システム 1 では、光ファイバ伝送路 30 の波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 （波長 $1.5\ \mu\text{m} \sim 1.61\ \mu\text{m}$ ）に含まれる各波長の信号光は、分散補償器 23 により分散補償されて、これにより全体の累積波長分散が分散耐力以下となった。分散補償器 2

3である分散補償光ファイバの長さは、最大波長 $1.61\mu\text{m}$ で累積波長分散が分散耐力以下となるように調整された。第1波長域 Λ_1 における最大損失は波長 $1.31\mu\text{m}$ における 27dB であり、第2波長域 Λ_2 における全体の損失は 26dB 以下であった。伝送ペナルティは全波長で 1dB 以下であった。

【0035】

(第2実施形態)

次に、本発明に係る光伝送システムの第2実施形態について説明する。図4は、第2実施形態に係る光伝送システム2の構成図である。この図に示される光伝送システム2は、第1実施形態に係る光伝送システム1の構成(図1)に加えて、光カプラ41および励起光源42を更に備えるものである。

【0036】

励起光源42は、光ファイバ伝送路30において信号光をラマン増幅する為のラマン増幅用励起光を出力する。光カプラ41は、光ファイバ伝送路30の後段であって分波器22の前段に設けられ、励起光源42より出力された励起光を光ファイバ伝送路30に供給するとともに、光ファイバ伝送路30により伝送されて到達した多波長の信号光を合波器22へ出力する。ラマン増幅用の励起光は、波長 $1.2\mu\text{m}\sim 1.3\mu\text{m}$ の励起光を含むのが好適であり、この場合には、波長 $1.3\mu\text{m}\sim 1.4\mu\text{m}$ の信号光をラマン増幅することができる。また、このとき、光ファイバ伝送路30は、波長 $1.38\mu\text{m}$ における伝送損失が波長 $1.31\mu\text{m}$ における伝送損失より小さいのが好適である。

【0037】

この光伝送システム2は以下のように動作する。励起光源42より出力されたラマン増幅用の励起光は、光カプラ41を経て光ファイバ伝送路30へ供給される。直接変調された各送信器11_nにより出力された各波長 λ_n の信号光は合波器12により合波され、多重化された多波長 $\lambda_1\sim\lambda_N$ の信号光が光ファイバ伝送路30へ送出される。光ファイバ伝送路30により伝送される間に信号光はラマン増幅される。そして、光ファイバ伝送路30により伝送され光カプラ41を経て分波器22に到達した多波長 $\lambda_1\sim\lambda_N$ の信号光は、分波器22により第1波長域 Λ_1 と第2波長域 Λ_2 とに分波される。分波器22により分波されて出力された波

長分散の絶対値が小さい第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光は、分波器24₁により波長毎に分波されて、受信器21₁~21_Mにより受信される。一方、分波器22により分波されて出力された波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、分散補償器23により分散補償された後に、分波器24₂により波長毎に分波されて、受信器21_{M+1}~21_Nにより受信される。

【0038】

このとき、光ファイバ伝送路30および分散補償器23の全体の波長分散が最大である第2波長域 Λ_2 中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s)としたときに、その波長分散値は0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm)以下とされる。また、システム全体での第2波長域 Λ_2 中の各波長の信号光の損失が、光ファイバ伝送路30での第1波長域 Λ_1 中の信号光の最大損失より小さく設定される。或いは、第2波長域 Λ_2 中の各信号光の受信器の最小受信パワーが、光ファイバ伝送路30での第1波長域 Λ_1 中の信号光の最小パワーより小さく設定される。また、光ファイバ伝送路30および分散補償器23の全体の波長分散が、第2波長域 Λ_2 中の各波長において、0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm)以下であるのが好適である。

【0039】

波長分散特性および損失特性が上記のようなものであることにより、光伝送システム2は、信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能となり、特にCWDM光伝送を行なうのに好適なものとなる。また、一方の第2波長域 Λ_2 の信号光に対してのみ分散補償器23を設ければよいので、システムコストが安価なものとなる。また、CWDM光伝送では信号光の波長間隔が広いので、分波器22として安価な光フィルタを用いることができる。また、本実施形態では、光ファイバ伝送路30の損失が大きい波長域の信号光をラマン増幅することで、更に高品質の信号光伝送が可能となる。

【0040】

具体的には、光ファイバ伝送路30は、波長1.38 μ m付近のOH基に因る損失ピークが低減された非零分散シフト光ファイバである。波長1.31 μ m~

1. $61\ \mu\text{m}$ の範囲の16波の信号光(波長間隔 $20\ \text{nm}$)を伝送することとし、ビットレートを $2.5\ \text{Gb/s}$ とする。この場合、システムの分散耐力は $1200\ \text{ps/nm}$ である。ラマン増幅用の励起光の波長は $1.2\ \mu\text{m}\sim 1.3\ \mu\text{m}$ であり、波長 $1.3\ \mu\text{m}$ 付近の信号光をラマン増幅する。これにより、損失により制限されていた伝送距離が拡張され、或いは、受信パワーが増大して、システムマージンの拡大を図ることができる。例えば、ラマン増幅用励起光の波長が $1.23\ \mu\text{m}$ であってパワーが $24\ \text{dBm}$ であれば、波長 $1.33\ \mu\text{m}$ での伝送距離を $20\ \text{km}$ 以上長くすることができる。

【0041】

(第3実施形態)

次に、本発明に係る光伝送システムの第3実施形態について説明する。図5は、第3実施形態に係る光伝送システム3の構成図である。この図に示される光伝送システム3は、 N 個(N は2以上の整数)の送信器 $11_1\sim 11_N$ 、合波器12、 N 個の受信器 $21_1\sim 21_N$ 、分波器 22_1 、分波器 22_2 、分散補償器 23_2 、分散補償器 23_3 、分波器 24_1 、分波器 24_2 、分波器 24_3 、および、光ファイバ伝送路30を備えている。

【0042】

各送信器 11_n (n は1以上 N 以下の任意の整数)は、直接変調された波長 λ_n の信号光を出力する半導体レーザ光源を含む。合波器12は、各送信器 11_n より出力された波長 λ_n の信号光を入力し、これらを合波して、多重化された多波長 $\lambda_1\sim \lambda_N$ の信号光を光ファイバ伝送路30へ送出する。これらの波長 $\lambda_1\sim \lambda_N$ は、波長 $1.3\ \mu\text{m}$ 程度から波長 $1.61\ \mu\text{m}$ 程度までの信号光波長帯域に含まれるものであって、波長間隔が比較的広い。すなわち、この光伝送システム3は、CWDM光伝送を行うものである。

【0043】

光ファイバ伝送路30は、合波器12より出力された多波長 $\lambda_1\sim \lambda_N$ の信号光を分波器 22_1 へ伝送する。この光ファイバ伝送路30は、波長 $1.3\ \mu\text{m}$ 近傍に零分散波長を有する標準的な単一モード光ファイバからなるのが好適であり、或いは、波長 $1.35\ \mu\text{m}\sim 1.5\ \mu\text{m}$ に零分散波長を有する非零分散シフト光

ファイバからなるのも好適である。また、光ファイバ伝送路 3 0 は、波長 1. 3 8 μm における伝送損失が波長 1. 3 1 μm における伝送損失より小さいのが好適である。

【 0 0 4 4 】

分波器 2 2₁ は、光ファイバ伝送路 3 0 の後段に設けられ、光ファイバ伝送路 3 0 により伝送された多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を入力し、これらを第 1 波長域 Λ_1 と第 2 波長域 Λ_2 とに分波する。第 1 波長域 Λ_1 は光ファイバ伝送路 3 0 の零分散波長を含む波長域であり、第 2 波長域 Λ_2 はこれ以外の波長域である。光ファイバ伝送路 3 0 が標準的な単一モード光ファイバである場合には、第 1 波長域 Λ_1 より第 2 波長域 Λ_2 の方が長波長側にある。また、分波器 2 2₂ は、分波器 2 2₁ により分波されて出力された第 2 波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ (M は 2 以上 ($N-1$) 以下の整数) の信号光を入力して、これを更に 2 つの波長域に分波して出力する。

【 0 0 4 5 】

分散補償器 2 3₂ は、分波器 2 2₂ により分波されて出力された第 2 波長域 Λ_2 のうちの波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_L$ (L は ($M+2$) 以上 ($N-1$) 以下の整数) の信号光を入力して、これらの信号光に対して分散補償して出力する。分散補償器 2 3₃ は、分波器 2 2₂ により分波されて出力された第 2 波長域 Λ_2 のうちの波長 $\lambda_{L+1} \sim \lambda_N$ の信号光を入力して、これらの信号光に対して分散補償して出力する。これらの分散補償器 2 3₂、2 3₃ は、各波長域において光ファイバ伝送路 3 0 の波長分散とは異符号の波長分散を有し、例えば分散補償光ファイバが好適に用いられる。

【 0 0 4 6 】

分波器 2 4₁ は、分波器 2 2₁ により分波されて出力された第 1 波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を入力して、これらを波長毎に分波して出力する。分波器 2 4₂ は、分散補償器 2 3₂ により分散補償されて出力された第 2 波長域 Λ_2 のうちの波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_L$ の信号光を入力して、これらを波長毎に分波して出力する。分波器 2 4₃ は、分散補償器 2 3₃ により分散補償されて出力された第 2 波長域 Λ_2 のうちの波長 $\lambda_{L+1} \sim \lambda_N$ の信号光を入力して、これらを波長毎に分波して出力する。各受信器 2 1_n は、分波器 2 4₁ \sim 2 4₃ の何れかより出力された波

長 λ_n の信号光を受信する。

【0047】

この光伝送システム3は以下のように動作する。直接変調された各送信器11_nにより出力された各波長 λ_n の信号光は合波器12により合波され、多重化された多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光が光ファイバ伝送路30へ送出される。光ファイバ伝送路30により伝送されて分波器22₁に到達した多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、分波器22₁により第1波長域 Λ_1 と第2波長域 Λ_2 とに分波される。分波器22₁により分波されて出力された波長分散の絶対値が小さい第1波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光は、分波器24₁により波長毎に分波されて、受信器21₁~21_Mにより受信される。一方、分波器22₁により分波されて出力された波長分散の絶対値が大きい第2波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、分波器22₂により更に2つの波長域に分波され、分散補償器23₂, 23₃により分散補償された後に、分波器24₂, 24₃により波長毎に分波されて、受信器21_{M+1}~21_Nにより受信される。

【0048】

このとき、光ファイバ伝送路30および分散補償器23の全体の波長分散が最大である第2波長域 Λ_2 中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s)としたときに、その波長分散値は0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm)以下とされる。また、システム全体での第2波長域 Λ_2 中の各波長の信号光の損失が、光ファイバ伝送路30での第1波長域 Λ_1 中の信号光の最大損失より小さく設定される。或いは、第2波長域 Λ_2 中の各信号光の受信器の最小受信パワーが、光ファイバ伝送路30での第1波長域 Λ_1 中の信号光の最小パワーより小さく設定される。また、光ファイバ伝送路30および分散補償器23の全体の波長分散が、第2波長域 Λ_2 中の各波長において、0より大きく $7500/B^2$ (ps/nm)以下であるのが好適である。

【0049】

波長分散特性および損失特性が上記のようなものであることにより、光伝送システム3は、信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能となり、特にCWDM光伝送を行なうのに好適なものとなる。また、一方の第2

波長域 Λ_2 の信号光に対してのみ分散補償器 23_2 , 23_3 を設ければよいので、システムコストが安価なものとなる。また、CWDM 光伝送では信号光の波長間隔が広いので、分波器 22_1 , 22_2 として安価な光フィルタを用いることができる。特に本実施形態では、第 2 波長域 Λ_2 の信号光を更に 2 つの波長域に分波して、その各々に対して分散補償器が設けられることから、より高品質の信号光伝送が可能となる。さらに、分散補償器 23_2 , 23_3 に対する損失要求特性が緩和されるので、システム設計が容易である。

【 0 0 5 0 】

図 6 は、第 3 実施形態に係る光伝送システム 3 の波長分散特性および損失特性を示す図である。同図 (a) は、送信器から受信器へ至るまでの累積波長分散の波長依存性を示し、同図 (b) は、送信器から受信器へ至るまでの損失の波長依存性を示す。分散補償器 23_2 , 23_3 を設けない場合には、波長によっては累積波長分散が分散耐力を超える（同図 (a) 中の破線）。しかし、本実施形態に係る光伝送システム 3 では、光ファイバ伝送路 30 の波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 （波長 $1.4 \mu\text{m} \sim 1.61 \mu\text{m}$ ）に含まれる各波長の信号光は、分散補償器 23_2 , 23_3 により分散補償されて、これにより全体の累積波長分散が分散耐力以下となる（同図 (a) 中の実線）。分散補償器 23_2 , 23_3 である分散補償光ファイバの長さは、各帯域の最大波長で累積波長分散が分散耐力以下となるように調整される。

【 0 0 5 1 】

(第 4 実施形態)

次に、本発明に係る光伝送システムの第 4 実施形態について説明する。図 7 は、第 4 実施形態に係る光伝送システム 4 の構成図である。この図に示される光伝送システム 4 は、第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 の構成（図 1）に加えて、光カプラ 41 および励起光源 42 を更に備えるものである。

【 0 0 5 2 】

励起光源 42 は、分散補償器としての分散補償光ファイバ 23 において信号光をラマン増幅する為のラマン増幅用励起光を出力する。光カプラ 41 は、分散補償光ファイバ 23 の後段であって分波器 24_2 の前段に設けられ、励起光源 42

より出力された励起光を分散補償光ファイバ 2 3 に供給するとともに、分散補償光ファイバ 2 3 により伝送されて到達した第 2 波長域 Λ_2 に含まれる信号光を分波器 2 4₂ へ出力する。ラマン増幅用の励起光は、波長 $1.2 \mu\text{m} \sim 1.3 \mu\text{m}$ の励起光を含むのが好適であり、この場合には、波長 $1.3 \mu\text{m} \sim 1.4 \mu\text{m}$ の信号光をラマン増幅することができる。また、このとき、分散補償光ファイバ 2 3 は、波長 $1.38 \mu\text{m}$ における伝送損失が波長 $1.31 \mu\text{m}$ における伝送損失より小さいのが好適である。

【 0 0 5 3 】

この光伝送システム 4 は以下のように動作する。直接変調された各送信器 1 1_n により出力された各波長 λ_n の信号光は合波器 1 2 により合波され、多重化された多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光が光ファイバ伝送路 3 0 へ送出される。光ファイバ伝送路 3 0 により伝送されて分波器 2 2 に到達した多波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、分波器 2 2 により第 1 波長域 Λ_1 と第 2 波長域 Λ_2 とに分波される。分波器 2 2 により分波されて出力された波長分散の絶対値が小さい第 1 波長域 Λ_1 に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光は、分波器 2 4₁ により波長毎に分波されて、受信器 2 1₁ \sim 2 1_M により受信される。一方、分波器 2 2 により分波されて出力された波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、分散補償光ファイバ 2 3 により分散補償されるとともに、この分散補償光ファイバ 2 3 においてラマン増幅され、その後、分波器 2 4₂ により波長毎に分波されて、受信器 2 1_{M+1} \sim 2 1_N により受信される。

【 0 0 5 4 】

このとき、光ファイバ伝送路 3 0 および分散補償光ファイバ 2 3 の全体の波長分散が最大である第 2 波長域 Λ_2 中の特定波長において、ビットレートを B (Gb/s) としたときに、その波長分散値は 0 より大きく $7500/B^2$ (ps/nm) 以下とされる。また、システム全体での第 2 波長域 Λ_2 中の各波長の信号光の損失が、光ファイバ伝送路 3 0 での第 1 波長域 Λ_1 中の信号光の最大損失より小さく設定される。或いは、第 2 波長域 Λ_2 中の各信号光の受信器の最小受信パワーが、光ファイバ伝送路 3 0 での第 1 波長域 Λ_1 中の信号光の最小パワーより小さく設定される。また、光ファイバ伝送路 3 0 および分散補償光ファイバ 2

3の全体の波長分散が、第2波長域 Λ_2 中の各波長において、0より大きく7500/B² (ps/nm)以下であるのが好適である。

【0055】

波長分散特性および損失特性が上記のようなものであることにより、光伝送システム4は、信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能となり、特にCWDM光伝送を行なうのに好適なものとなる。また、一方の第2波長域 Λ_2 の信号光に対してのみ分散補償光ファイバ23を設ければよいので、システムコストが安価なものとなる。また、CWDM光伝送では信号光の波長間隔が広いので、分波器22として安価な光フィルタを用いることができる。特に本実施形態では、分散補償光ファイバ23を伝搬する間に第2波長域 Λ_2 の信号光がラマン増幅されるので、分散補償光ファイバ23の実効的な損失を低減することができ、或いは、分散補償光ファイバ23を実効的に無損失とすることができる。

【0056】

具体的に、波長1.31 μ m~1.61 μ mの範囲の14波の信号光（ただし、波長1.49 μ mおよび1.51 μ mを除く）を伝送することとし、ラマン増幅用励起光の波長を1.51 μ mとし、ラマン増幅用励起光のパワーを17dBmとする。このとき、波長1.61 μ mにおいて4.5dBの利得が得られ、波長1.53 μ m~1.61 μ mにおける全損失は約26dBとなり、システムマージンを十分に確保することができる。

【0057】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能となり、特にCWDM光伝送を行なうのに好適なものとなる。また、一方の第2波長域の信号光に対してのみ分散補償器を設ければよく、また、分波器として安価な光部品を用いることができるので、システムコストが安価なものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 の構成図である。

【図 2】

第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 の波長分散特性および損失特性を示す図である。

【図 3】

第 1 実施形態に係る光伝送システム 1 の損失特性を示す図である。

【図 4】

第 2 実施形態に係る光伝送システム 2 の構成図である。

【図 5】

第 3 実施形態に係る光伝送システム 3 の構成図である。

【図 6】

第 3 実施形態に係る光伝送システム 3 の波長分散特性および損失特性を示す図である。

【図 7】

第 4 実施形態に係る光伝送システム 4 の構成図である。

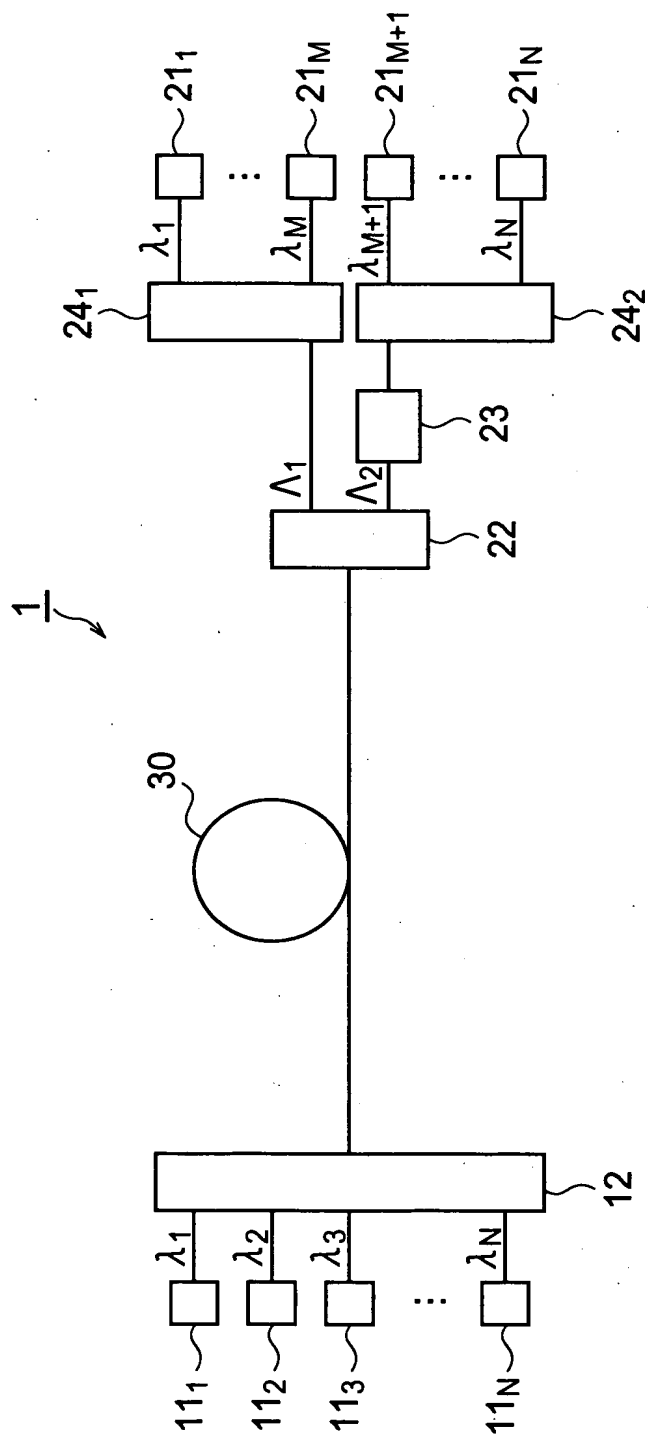
【符号の説明】

1 ～ 4 … 光伝送システム、 1 1 … 送信器、 1 2 … 合波器、 2 1 … 受信器、 2 2 … 分波器、 2 3 … 分散補償器、 2 4 … 分波器、 3 0 … 光ファイバ伝送路、 4 1 … 光カプラ、 4 2 … 励起光源。

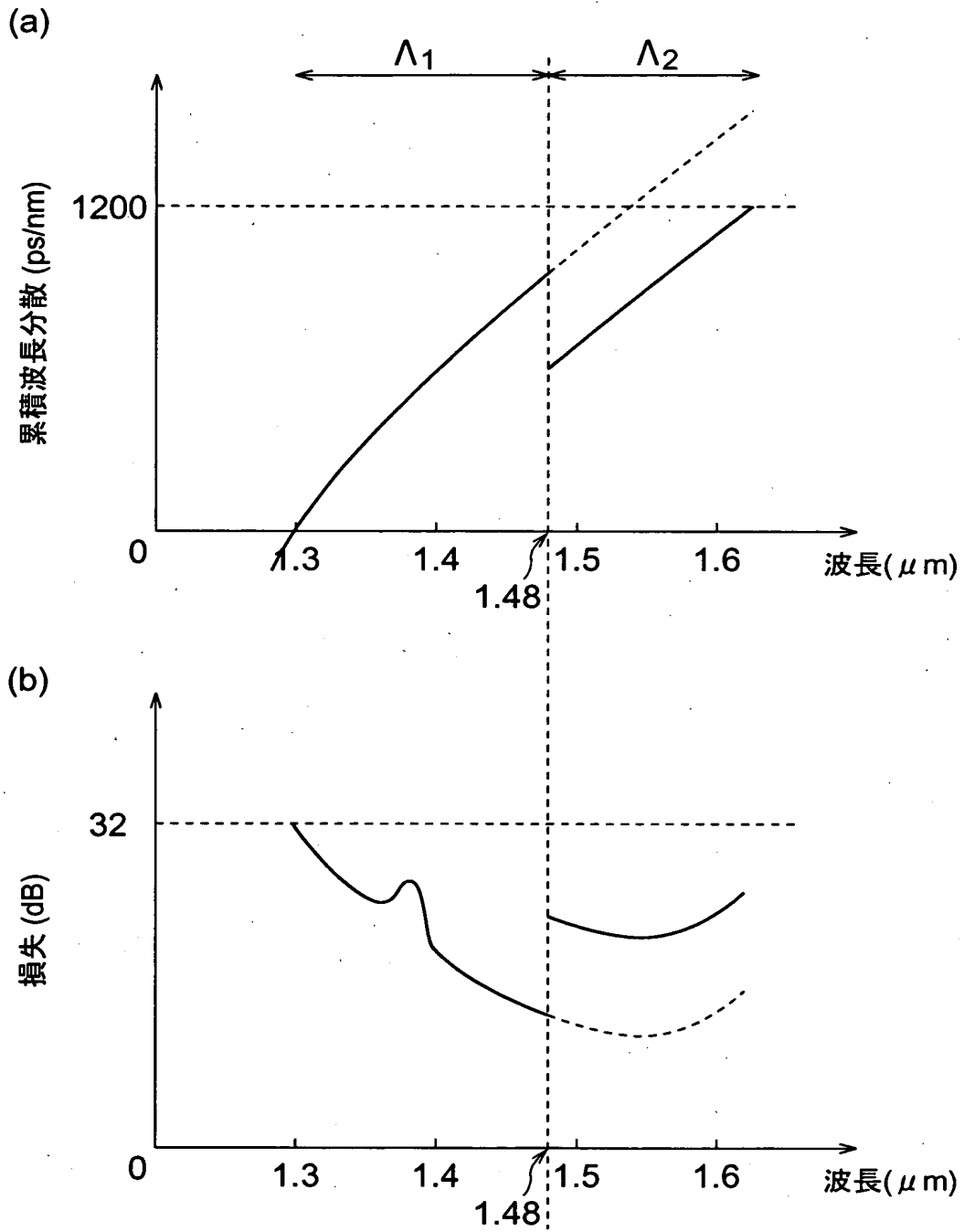
【書類名】

図面

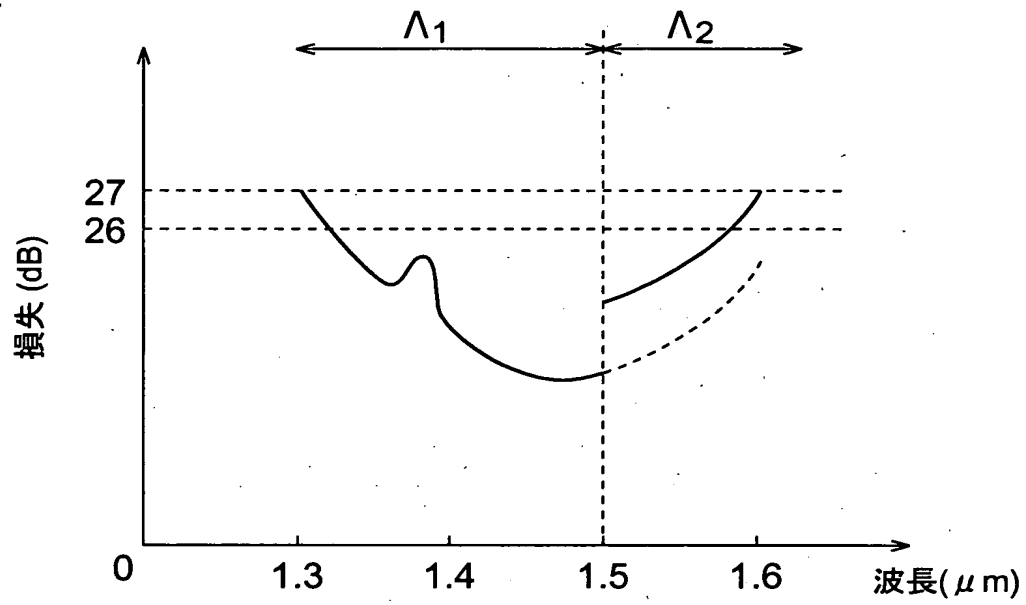
【図 1】



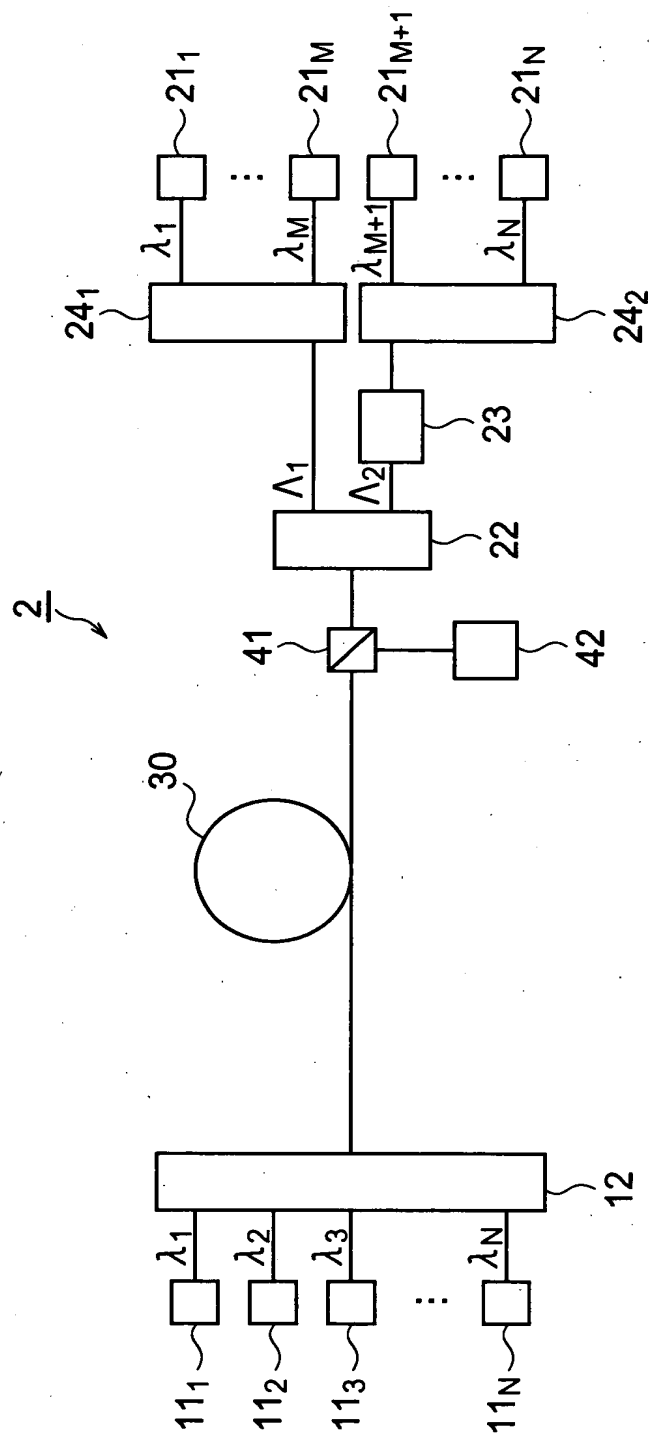
【図 2】



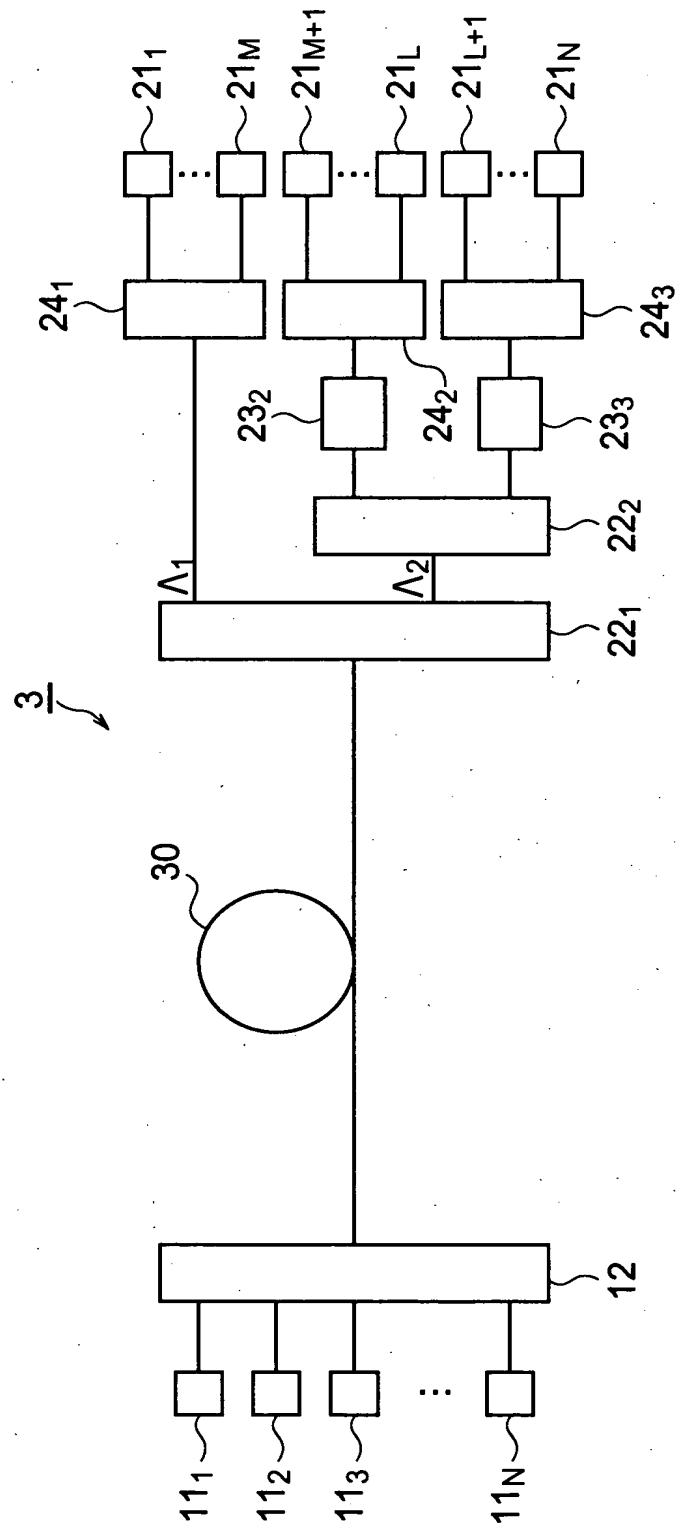
【図 3】



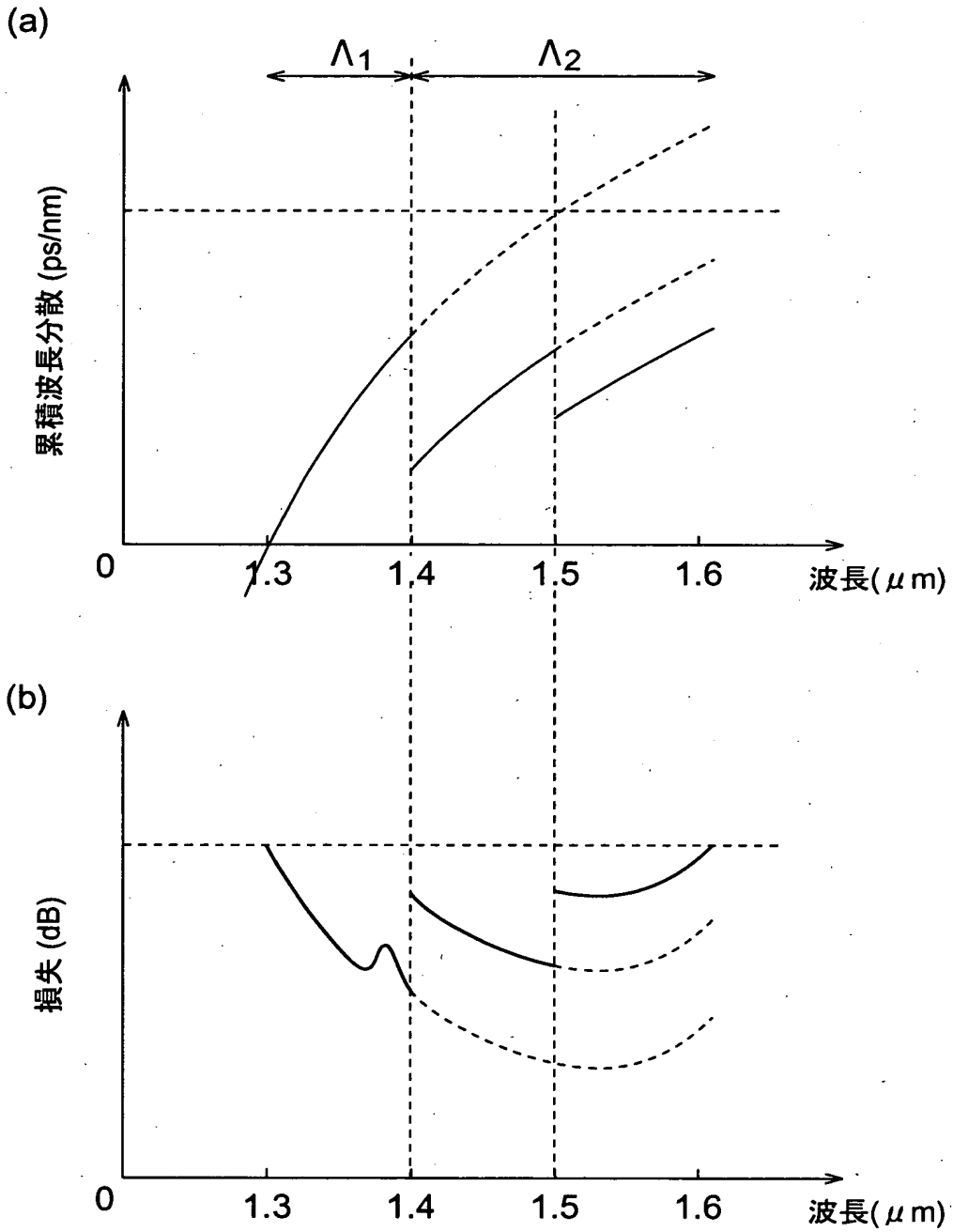
【図 4】



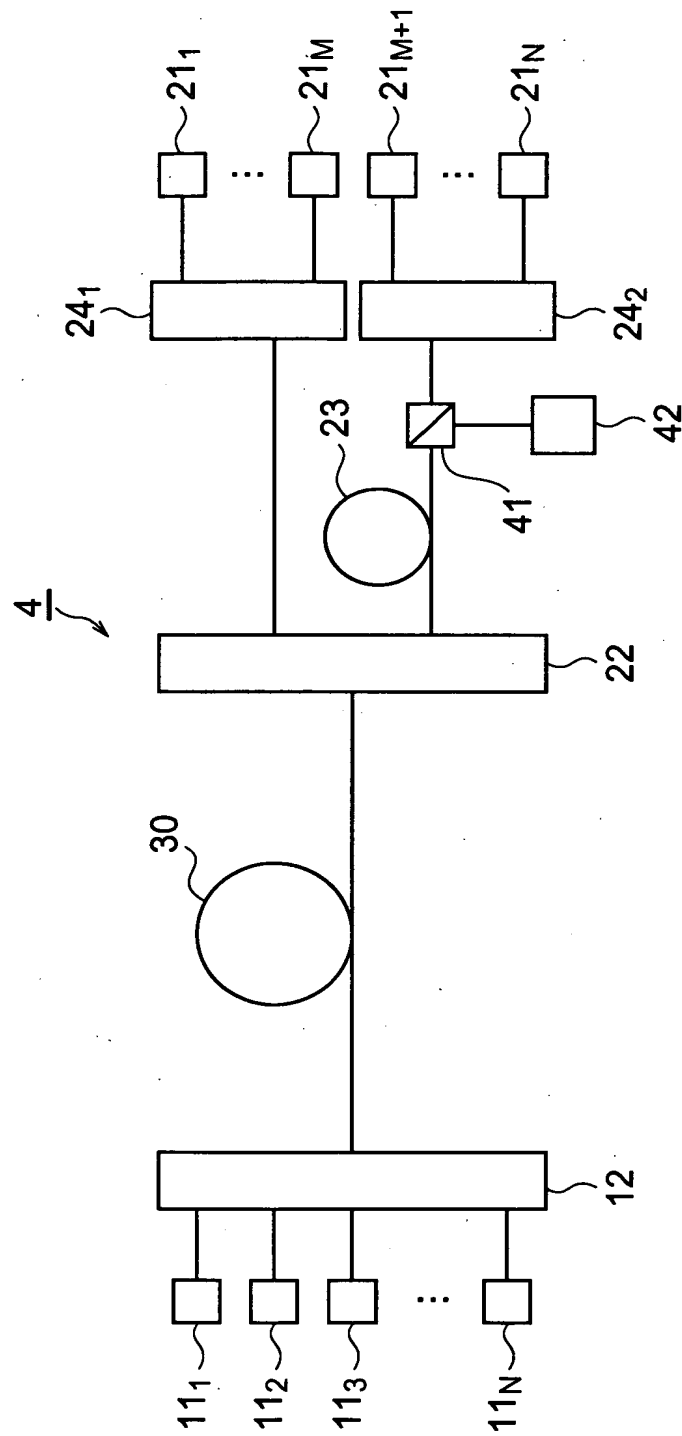
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 信号光波長帯域内の多波長の信号光を高品質で伝送することが可能であって特にCWD M光伝送を行なうのに好適な光伝送システムを提供する。

【解決手段】 直接変調された各送信器 1 1_nより出力された信号光は、合波器 1 2により合波され、光ファイバ伝送路 3 0により伝送され、分波器 2 2により第 1 波長域 Λ_1 と第 2 波長域 Λ_2 とに分波される。分波器 2 2より出力された波長分散の絶対値が大きい第 2 波長域 Λ_2 の信号光は、分散補償器 2 3により分散補償される。光ファイバ伝送路 3 0および分散補償器 2 3の全体の波長分散が最大である第 2 波長域 Λ_2 中の特定波長において、ビットレートを B (G b / s) としたときに、その波長分散値は 0 より大きく $7500 / B^2$ (p s / n m) 以下とされる。第 2 波長域 Λ_2 中の各波長の信号光の損失が、第 1 波長域 Λ_1 中の信号光の最大損失より小さく設定される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名	住友電気工業株式会社